

# Les rivages des Bermudes et les formes littorales de dissolution du calcaire

François Taillefer

Volume 2, numéro 2, 1957

URI : <https://id.erudit.org/iderudit/020026ar>

DOI : <https://doi.org/10.7202/020026ar>

[Aller au sommaire du numéro](#)

Éditeur(s)

Département de géographie de l'Université Laval

ISSN

0007-9766 (imprimé)

1708-8968 (numérique)

[Découvrir la revue](#)

Citer cet article

Taillefer, F. (1957). Les rivages des Bermudes et les formes littorales de dissolution du calcaire. *Cahiers de géographie du Québec*, 2(2), 115–137. <https://doi.org/10.7202/020026ar>

## Résumé de l'article

The littoral morphology of the Bermudas is an erosional morphology in limestones, the main processes being mechanical action and solution. The temperatures, in January and February, of the waters washing the Bermudas, are low enough to prevent the growing of true coral reefs. Therefore, it is not the morphology of a coral reef.

The predominance of wave-cut cliffs is the most striking feature, despite the low and gently rolling topography. There are, however, other types of coasts on the islands, the mangrove being found on many sheltered shores. The writer thus opposes the sheltered shores of the sounds to the ones exposed on the southcoast, while the shores of the north and north-east coasts belong to an intermediate type.

The steplike arrangement of the coastal forms of solution of the Bermudas limestones is primarily linked to the amount of the tidal range. These features are similar to those described on the shores of the warm seas, where the tide is negligible or weak.

The Bermudas occupy an intermediate position between the regions where reefs are built by corals, and those, to the north, where solution, helped by other processes, occurs without compensation.

# LES RIVAGES DES BERMUDES ET LES FORMES LITTORALES DE DISSOLUTION DU CALCAIRE

par

François TAILLEFER

Professeur invité à l'Institut de géographie, Université Laval, Québec.

## SUMMARY

*The littoral morphology of the Bermudas is an erosional morphology in limestones, the main processes being mechanical action and solution. The temperatures, in January and February, of the waters washing the Bermudas, are low enough to prevent the growing of true coral reefs. Therefore, it is not the morphology of a coral reef.*

*The predominance of wave-cut cliffs is the most striking feature, despite the low and gently rolling topography. There are, however, other types of coasts on the islands, the mangrove being found on many sheltered shores. The writer thus opposes the sheltered shores of the sounds to the ones exposed on the south coast, while the shores of the north and north-east coasts belong to an intermediate type.*

*The steplike arrangement of the coastal forms of solution of the Bermudas limestones is primarily linked to the amount of the tidal range. These features are similar to those described on the shores of the warm seas, where the tide is negligible or weak.*

*The Bermudas occupy an intermediate position between the regions where reefs are built by corals, and those, to the north, where solution, helped by other processes, occurs without compensation.*

À peu près à mi-chemin entre Halifax et Puerto-Rico, à 600 milles des côtes américaines de Géorgie, émerge en plein océan une terre blanche, longue et basse, recourbée en forme de hameçon suspendu à trois anneaux (figure 1). Terre minuscule au demeurant, puisqu'elle ne mesure dans sa plus grande longueur, du Sud-Ouest au Nord-Est, qu'environ 14 milles et que sa largeur n'excède nulle part 4 milles.<sup>1</sup>

Cette île occupe le bord sud-est d'une plate-forme faiblement immergée, ourlée de récifs, au-dessus de laquelle l'outremer des eaux du large fait place à des bleus plus clairs, à des verts absinthe et des blancs laiteux, suivant la nature et la topographie du fond. Ce grand platier ovale, couvert par 30 à 60 pieds d'eau (10 à 20m), mesure environ 22 milles sur 11. C'est le sommet d'un

<sup>1</sup> Il existe sur la géographie physique et la géologie des Bermudes une abondante bibliographie. On en trouvera l'essentiel à la fin de l'article. La morphologie littorale a été étudiée surtout par Al. Agassiz, Verrill et Prat. La meilleure carte topographique des Bermudes est celle de l'U. S. Survey au 1/25,000<sup>e</sup>, en deux feuilles (1956). Pour la topographie littorale et sous-marine, on se reportera à l'*Admiralty Chart*, n° 360 (1938). Notre enquête a été effectuée au cours d'un séjour à la *Bermuda Biological Station of Research*, à St. George's; il nous est agréable de remercier M. Sutcliffe, directeur de la station, pour son aide et la cordialité de son accueil. M. André Guilcher, à qui nous avons communiqué les résultats de notre enquête, a bien voulu nous faire bénéficier de ses remarques et de sa grande connaissance des questions de morphologie littorale. Il a, de plus, eu l'extrême obligeance de nous envoyer les premiers résultats des expériences qu'il poursuit actuellement avec M. l'ingénieur Pont sur la corrosion littorale des calcaires.

énorme volcan sous-marin dont le volume a été évalué à 2,500 milles cubes.<sup>2</sup> Sur cet édifice basaltique, arasé avant le début du Quaternaire par l'érosion sub-aérienne et le travail des vagues,<sup>3</sup> s'est déposé un mince chapeau de calcaire marin — une quarantaine de pieds à la base américaine de Kindley<sup>4</sup> — recouvert lui-même par des grès dunaires (*éolianites*) épais par endroits de plus de 400 pieds. Ces grès calcaires forment les îles dont les collines allongées, à topographie douce, s'élèvent rarement à plus de 200 pieds au-dessus du niveau de la mer.

À l'époque glaciaire, le niveau marin était assez bas pour que la plateforme des Bermudes soit émergée. Le vent s'emparait du sable coquillier qui la recouvrait et en édifiait des dunes.<sup>5</sup> Les grès présentent une stratification entrecroisée extrêmement variable et complexe, indiquant des vents changeant fréquemment de direction. Cependant, le dessin général des îles ne semble pas pouvoir s'expliquer par la seule action du vent. Les vagues et les courants de marée, circulant parmi les hauts fonds, ont construit des flèches littorales sur lesquelles le vent a édifié les dunes. Le crochet des îles de Somerset et d'Ireland rappelle le cap Cod.

L'édifice dunaire a été formé en plusieurs épisodes, séparés peut-être par de longs intervalles de temps, comme le montre l'intercalation, dans la masse des grès calcaires, de plusieurs niveaux de sols rouges fossiles, riches en coquilles de Gastéropodes terrestres, avec, à la base, de profondes poches de dissolution, pénétrant dans les calcaires sous-jacents. Sayles a distingué cinq sols, les uns surtout résiduels et indiquant de longues périodes d'érosion, les autres surtout formés par l'accumulation de débris divers. Les dunes antérieures à la dernière glaciation sont reconnaissables seulement à leur structure, la topographie dunaire ayant été complètement effacée. Les dunes contemporaines de la dernière glaciation ont, au contraire, parfaitement conservé leur forme. Elles se rencontrent au voisinage des rivages et reposent sur les calcaires éoliens plus anciens du centre de l'île.

Les sables calcaires semblent s'être rapidement cimentés en grès, au moins superficiellement, le bicarbonate de calcium dissous par les eaux d'infiltration formant le ciment.<sup>6</sup> Le relief actuel a certains traits du relief calcaire : pas un cours d'eau, pas une source. On recueille l'eau de pluie dans des citernes. Et comme celle qui ruisselle sur les toits des maisons ne suffit pas, on a, comme à Gibraltar, coiffé le sommet de certaines collines d'immenses plages de ciment, d'une blancheur éclatante, qui sont autant d'impluviums. Les dépressions fermées sont fréquentes. Les plus petites sont des dolines ou des entonnoirs de dissolution, profonds de cinquante pieds ou davantage. Sur leur fond de sol rouge, les cultures tropicales, surtout celle du bananier, prospèrent à l'abri du vent. Certaines sont occupées par un étang. Mais les grandes dépressions

<sup>2</sup> PIRSSON, 1914.

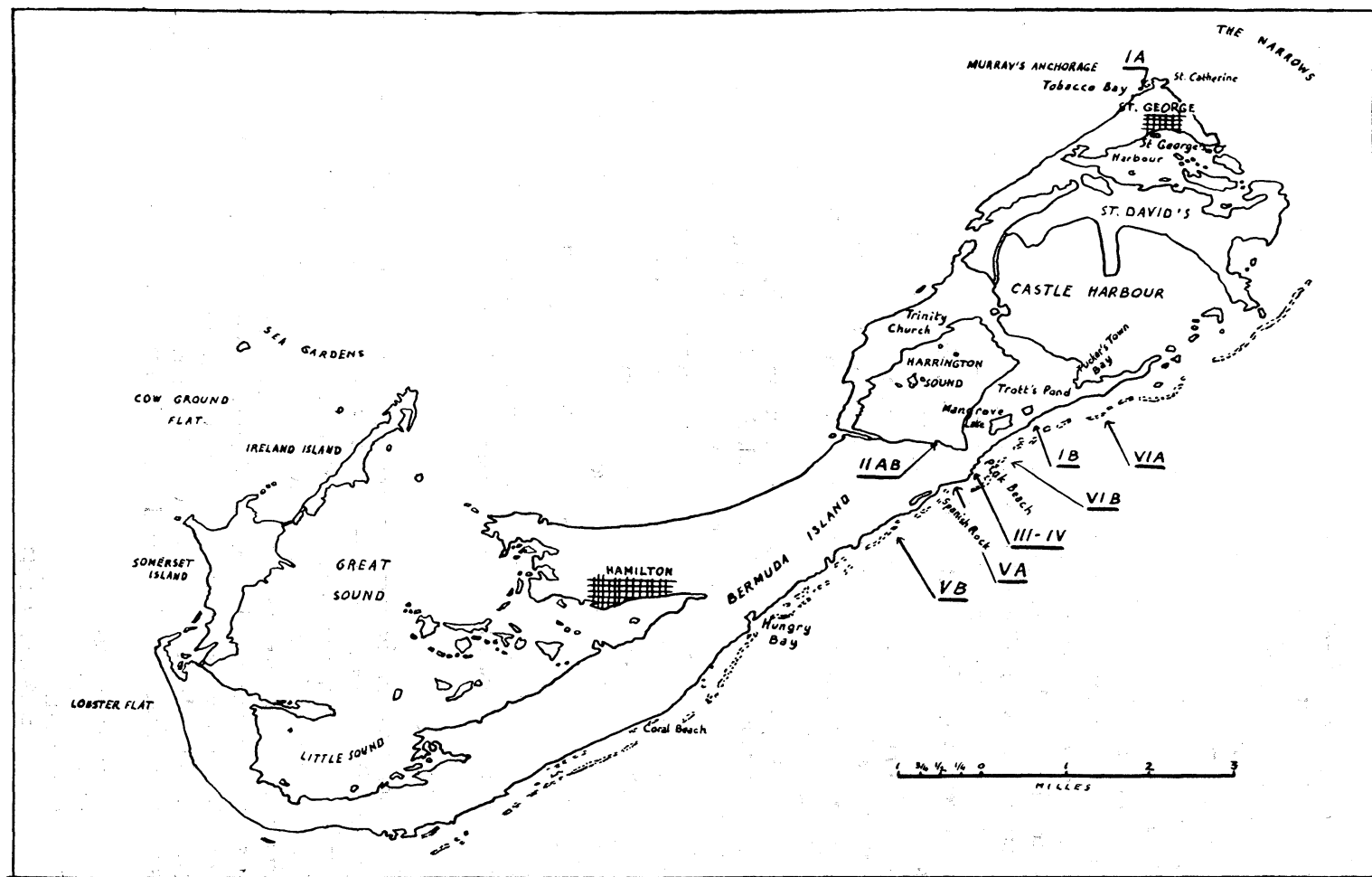
<sup>3</sup> SAYLES, 1931.

<sup>4</sup> MOORE, 1946.

<sup>5</sup> BRYAN and CADY, 1934.

<sup>6</sup> La consolidation des dunes calcaires littorales paraît un fait général sous ces latitudes : Levant, Algérie, Maroc atlantique, Portugal méridional, Australie occidentale. Les Bahamas sont, comme les Bermudes, formées de grès dunaires consolidés.

FIGURE I



Les Bermudes, carte d'ensemble. Les flèches indiquent l'emplacement des photographies. Les chiffres romains renvoient aux photos.

comme celles de Pembroke, de Hamilton et de Devonshire, — cette dernière longue de plus d'un mille et large d'un demi-mille — dans le Nord de l'île principale, dérivent probablement de dépressions originelles entre des alignements de cordons littoraux et de dunes. Leur fond plat et tourbeux leur donne une allure de *poljé*. Les rades de Saint George's Harbour, Castle Harbour, Harrington Sound et Great Sound sont probablement des dépressions de même origine, envahies par la mer.

Le *karst* des Bermudes est peu développé et paraît très « jeune ». Les grottes sont petites. La plupart sont localisées au voisinage du niveau de la mer, dans les isthmes étroits entre les *sounds*. Certaines abritent des lacs souterrains dont l'eau limpide est salée, car elles communiquent avec la mer. Swinnerton pense qu'elles résultent de la dissolution du calcaire par les eaux douces vadoses aux époques où le niveau marin était plus bas qu'aujourd'hui.<sup>7</sup> Il est certain que les stalactites et les stalagmites maintenant partiellement immergées se sont formées à l'air libre. Mais la nappe phréatique, correspondant à des niveaux marins légèrement différents de l'actuel, a pu jouer son rôle dans la dissolution. Il serait, en tout cas, très exagéré de faire des Bermudes un exemple typique de *karst* noyé, en raison du médiocre développement des formes karstiques.

L'ennoisement récent des îles est pourtant un fait très apparent. Seule la partie la plus élevée de l'édifice de calcaires éoliens émerge aujourd'hui. Ces derniers ont été rencontrés à 52 pieds au-dessous du niveau de la mer à Ireland Island et — 245 pieds par un sondage.<sup>8</sup> De nombreuses dépressions fermées sont occupées par un lac dont le niveau suit les oscillations de la marée. Certaines sont devenues des baies délimitées par de pittoresques écueils : Tobacco Bay au nord de Saint George's (ph. IA), Hungry Bay sur la côte sud de l'île principale. La tourbe accumulée au fond des grandes dépressions, comme celle de Hamilton, a plus de 97 pieds d'épaisseur. On y a rencontré des branches et des troncs d'arbres à — 15 et — 30 pieds au-dessous du niveau de la mer.<sup>9</sup> Celle-ci n'a atteint son niveau actuel qu'à la fin de la transgression flandrienne.

### *La mer*

Les eaux qui baignent les Bermudes, par 32° de latitude Nord, sont toujours tièdes. La grande courbe du *Gulf Stream* les enveloppe largement au Nord. En surface, la température ne s'abaisse jamais au-dessous de 59° (15°C.) pendant les mois les plus frais (janvier et février). D'avril à novembre, elle dépasse le plus souvent 68° (20°C.). En juillet, août et septembre, les eaux de surface sont très chaudes, leur température restant supérieure à 82° (27°C.) en août. Ce sont seulement les températures un peu basses de janvier-février qui empêchent la croissance de véritables récifs coralliens. Les polypiers, variés et nombreux dans les eaux des Bermudes,<sup>10</sup> ne sont pas un agent d'édifi-

<sup>7</sup> SWINNERTON, 1929.

<sup>8</sup> PIRSSON, 1914.

<sup>9</sup> KNOX, 1940.

<sup>10</sup> VERRILL, 1907, pp. 204-348.

PHOTO IA



(photo F. Taillefer)

Tobacco Bay (Saint George's). Dépression circulaire envahie par la mer. Fractionnement de la cloison rocheuse. Tapis d'algues sur le fond (parties sombres).

PHOTO IB



(photo F. Taillefer)

Trott's Pond. La mangrove.

cation et ils semblent ne l'avoir jamais été. Même dans les calcaires tertiaires, c'est seulement dans l'assise gréseuse supérieure que les *Montastraea* et les *Dichocænia*, aujourd'hui disparus des eaux des Bermudes, forment quelques récifs.<sup>11</sup> Les *Mæandra*, qui prospèrent actuellement dans les eaux abritées des *sounds*, ne construisent que de petites colonies, de quelques pieds de long. La morphologie littorale des Bermudes n'est donc pas celle d'un récif corallien, c'est une morphologie d'érosion dans les calcaires éoliens, par attaque mécanique et par dissolution.

Dans ces eaux tièdes, où les amplitudes thermiques diurne, mensuelle et annuelle sont assez réduites,<sup>12</sup> prospèrent de nombreuses plantes et animaux marins. Certains de ces organismes s'incruster sur les rochers, en particulier dans la zone du déferlement, et jouent un rôle dans l'évolution des formes littorales.

Nous manquons de renseignements sur l'état de la mer et la force des vagues, de même que sur la direction des houles de provenance lointaine. Si l'on ne tient compte que de la fréquence, le vent souffle le plus souvent aux Bermudes du Sud et de l'Ouest, plus rarement du Nord et de l'Est (figure 2). Mais les vents du Sud à Sud-Ouest sont des vents faibles qui soufflent en été, et presque jamais en tempête. Les vents forts sont, au contraire, des vents d'hiver, de secteur Nord-Ouest à Nord. Il y a, en moyenne, 26,6 jours de tempête durant les quatre mois de décembre à mars, par vent de Nord-Ouest à Nord, tandis que les huit autres mois de l'année ne totalisent que 12,4 jours de tempête. Celles-ci sont très rares en été, lorsque soufflent les vents de Sud-Ouest. S'il en était ainsi au Quaternaire, la localisation des dunes sur le bord sud-est du platier s'explique parfaitement.<sup>13</sup> Les rivages exposés sont donc, en principe, ceux qui regardent le Nord et le Nord-Ouest, les côtes sud et sud-est étant, au contraire, abritées. Mais il faut tenir compte des profondeurs en avant des rivages et de leur action sur les vagues. En effet, par suite de la situation des îles sur le bord sud-est du platier, les vagues poussées par les vents de Nord-Ouest doivent traverser toute sa largeur pour atteindre la côte nord. Elles n'y arrivent que freinées par les faibles profondeurs, les grosses vagues ayant déferlé dès qu'elles atteignent le bord extérieur du platier, à six ou neuf milles de la côte. Au contraire, la côte sud et sa bordure de récifs sont directement atteintes par les vagues venues du large. Les falaises, plus élevées que celles de la côte nord, témoignent d'une érosion plus énergique.

La marée joue un grand rôle dans l'étagement des formes littorales, surtout sur les littoraux calcaires. Or, comme sur les côtes de la plupart des îles situées en plein océan, le marnage est faible aux Bermudes : 3½ à 4 pieds (1 m à 1,20 m) par marées ordinaires, 5 pieds (1,50 m) par marées de vives eaux, 7 pieds (2 m) par gros temps. La zone d'attaque est donc relativement étroite. Elle l'est bien plus encore sur le littoral de Harrington Sound qui ne communique

<sup>11</sup> MOORE, 1946.

<sup>12</sup> L'amplitude moyenne de l'air varie entre 11° et 12°F. (6,16 et 6,82°C.). C'est pendant les mois d'été qu'elle est la plus grande. La plus forte amplitude diurne de l'air observée pendant une période de 12 ans (1920-1931) a été de 24,2°F. (13,56°C.) en janvier 1923.

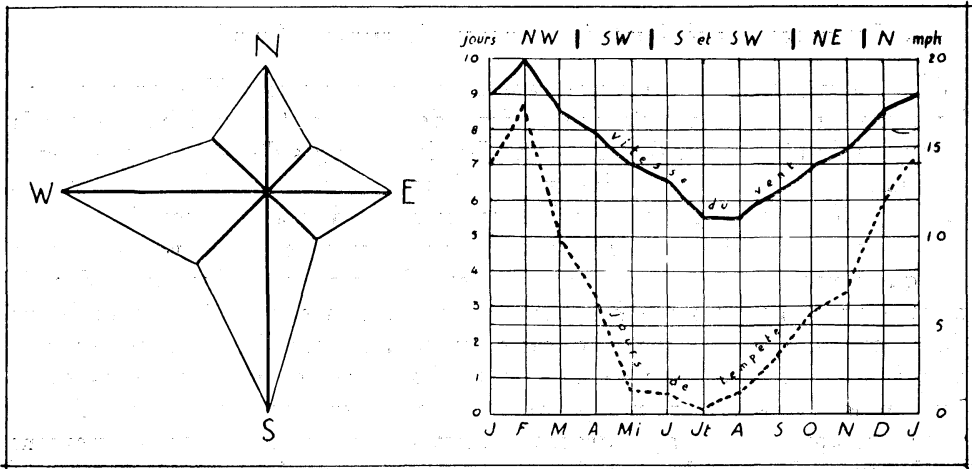
<sup>13</sup> BRYAN and CADY, 1934.

avec la mer libre que par un goulot extrêmement resserré. Le marnage s'y réduit à 6-8 pouces (15 à 20 cm). Les Bermudes permettent donc de comparer les formes littorales obtenues avec un marnage modeste, mais appréciable, et celles qui se façonnent en fonction d'un plan d'eau presque stable.

### Aspect général des côtes

Le fait le plus frappant, en dépit de la modestie du relief général et de ses formes douces, est la prédominance des falaises vives, non seulement sur les côtes exposées et tournées vers le large, mais aussi sur les rivages les plus abrités,

FIGURE II



Le vent aux Bermudes. À gauche, directions du vent à Saint George's (moyenne des années 1932-1935, trois observations par jour). Il n'est pas tenu compte de la force du vent. À droite, vitesse moyenne du vent à Saint George's (1934-1943) et nombre moyen de jours de tempête. Dans la marge supérieure du graphique, direction du vent dominant.

comme ceux de la rade pratiquement close de Harrington Sound. Il s'agit le plus souvent de véritables falaises avec, à leur base, une encoche parfois très profonde. Elles s'effondrent par gros blocs qui subsistent à leur pied jusqu'à ce que la mer ait achevé de les ronger. On peut encore observer à Deep Bay, près de Admiralty House, les effets de l'éboulement d'octobre 1903 : au cours d'un cyclone, la falaise s'est effondrée sur 60 pieds de profondeur et 35 à 40 pieds de largeur. Sur la côte sud, le plus considérable est celui de Old Battery, dont l'amoncellement de blocs cyclopéens fait grande impression vu de la mer (ph. VA).

Ce type de côtes n'est cependant pas le seul. Sur beaucoup de rivages abrités, surtout ceux des dépressions karstiques noyées, la mangrove à *Rhizophora* s'est installée (ph. IB). Elle se réduit généralement à un liséré assez étroit. Sur les côtes plus exposées, une végétation de salicornes subsiste seule dans la zone des embruns, partout où un replat lui permet de s'accrocher. Les plages



sont toujours petites. Elles occupent surtout le fond des anses de la côte sud, où leur beau sable coquillier blanc se teinte de grains rose vif où l'on reconnaît des fragments de tubes de serpules. En de rares points le sable est assez abondant pour que le vent édifie quelques dunes vives, vite arrêtées dans leur progression par les premières pentes. La côte sud présente enfin, en avant de ses hautes falaises, un alignement parfois multiple de brisants formant une barrière à peu près parallèle à la côte, qu'elle longe à une distance variable, mais n'excédant pas deux milles.

Ainsi, on peut opposer les rivages abrités des *sounds* aux rivages battus de la côte sud, les rivages des côtes nord et nord-est, bordées par un large platier, appartenant à un type intermédiaire. Nous ne retiendrons, pour cette étude, que les exemples extrêmes.

### *Les rivages abrités à très faible marée : Harrington Sound*

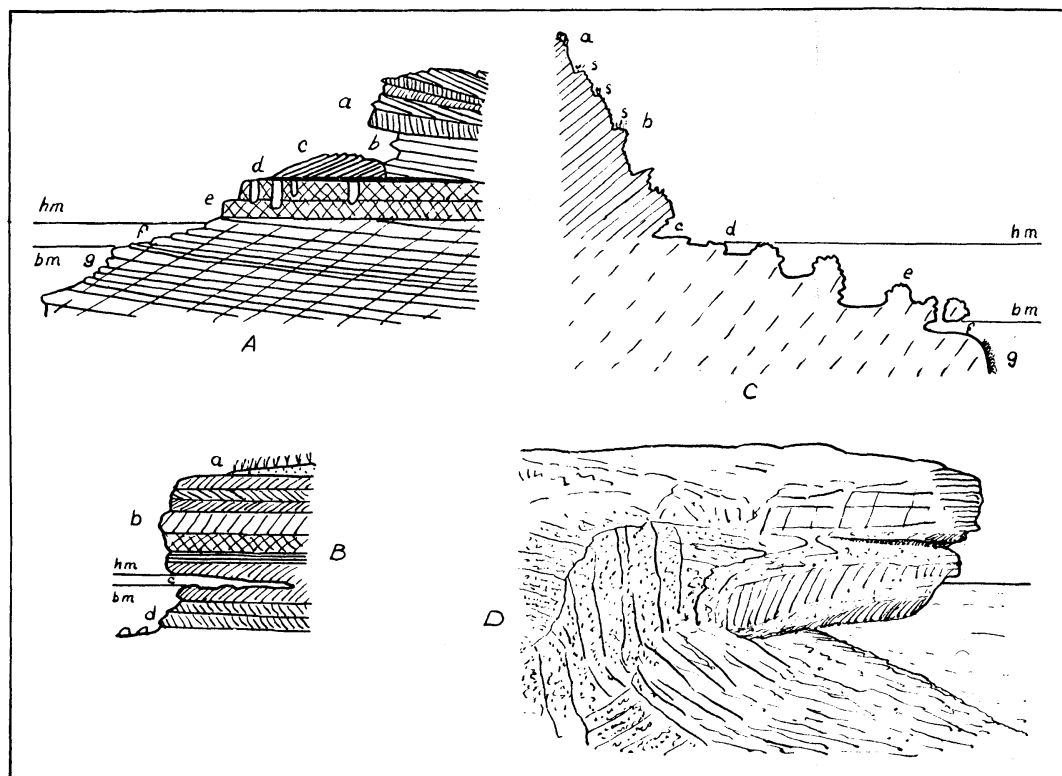
Harrington Sound est une rade sans communication libre avec la mer. Le chenal très étroit qui s'ouvre au fond de Tuckers Bay et débouche sur la côte nord de l'île principale limite, en effet, les échanges d'eau entre la rade et la mer libre. La marée, dans Harrington Sound, sans être nulle, est donc très faible. L'écart entre la haute et la basse mer se réduit à 8 pouces (20 cm).

Les côtes de Harrington Sound ne sont pas très élevées, mais se terminent presque toujours par des falaises escarpées. Les formes de dissolution dans le calcaire s'y étagent sur une hauteur réduite : jusqu'à environ 1,50 m au-dessus du niveau moyen de l'eau le calcaire est creusé d'alvéoles, disposés en nids d'abeilles ; — dans la zone comprise entre les hautes et les basses eaux et un peu au-dessus, apparaît une petite plate-forme en encorbellement ; elle est ciselée en lapiés, défoncés par des mares petites et profondes et des marmites sans fond trouant le bord de l'encorbellement. Cette plate-forme est toujours très étroite : quelques pieds lorsqu'elle forme banquette au bas de la falaise ; quelques dizaines de pieds à l'extrémité des pointes où les plates-formes bordières se rejoignent. Un véritable trait de scie horizontal <sup>14</sup> très étroit (1 pied environ), mais très profond, pénètre sous l'encorbellement (figure 3B et ph. IIA). La partie de la falaise ainsi mise en surplomb s'effondre par blocs, les cassures se produisant suivant d'anciennes diaclases remplies de calcite (ph. II B). Il n'est pas rare de voir des fissures ouvertes (les *cracks*) annonciatrices de l'éboulement. Sur les bords de Harrington Sound, des tables calcaires de plusieurs dizaines de mètres carrés se sont effondrées et brisées en morceaux, les fragments restant parfois jointifs comme dans un *puzzle*. Ils portent la marque d'une active dissolution par l'eau de mer.

À Harrington Sound, la forme essentielle est donc l'encoche de dissolution. L'absence ou le développement réduit de la plate-forme à mares s'explique par l'insignifiance du marnage ; la faible hauteur des vagues et l'étroitesse de la zone atteinte par les embruns rendent compte de la localisation des lapiés au voisinage immédiat du niveau de l'eau. L'analogie des formes de dissolution

<sup>14</sup> L'expression est de Verrill. Prat compare la même forme à un « coup de hache ».

FIGURE III



# TYPES DE LITTORAUX CALCAIRES AUX BERMUDES.

## A. Côte Sud, à l'Ouest de Hungry Bay.

- a) Calcaires éoliens, contenant des coquillages terrestres récents.
- b) Sables éoliens imparfaitement consolidés.
- c) Beach-rock, contenant des fossiles marins de la zone intertidale. (*Tectarius*, *Nerita*).
- d) Argile rouge durcie (ancien sol) avec poches de dissolution.
- e) Calcaire dur lapiazé.
- f) Plate-forme à mares et lapiés.
- g) Petite falaise de basse mer.

Le beach-rock est peut-être un témoin du rivage bas-monastirien. (D'après VERRILL, *The Bermuda Island, Geology*, fig. 11, p. 79).

## B. Falaise et encoche en trait de scie au bord de Harrington Sound.

- a) Sol et végétation.
- b) Falaise et calcaire éolien.
- c) Encoche large d'un pied à l'entrée, entre basse mer et haute mer.
- d) Falaise de basse mer. (D'après VERRILL, *ibid.*, fig. 19, p. 112).

## C. Côte Sud, près de Pink Beach. Coupe schématique.

- a) Végétation dense.
- b) Nids d'abeilles et lapiés, avec salicornes (s) sur les replats.
- c) Encoche de haute mer (profondeur 30 pouces).
- d) Mares et lapiés.
- e) Défoncement des mares.
- f) Encoche de basse mer.
- g) Falaise de basse mer, couverte de serpules et autres organismes incrustants (levé direct).

## D. Falaise de calcaires éoliens, Côte Nord, avec, au-dessus de l'encoche actuelle, une encoche morte, située au-dessus du niveau des hautes mers, et probablement bas-monastirienne. La surface des calcaires éoliens, durcis par infiltration de l'eau et recristallisation du calcaire, est vermiculée et ciselée en nids d'abeilles. (D'après une photographie de VERRILL, *Geology*, fig. 15, p. 107).

autour de Harrington Sound avec celles décrites aux Hawaï, où le marnage est également très réduit, est frappante.

*Les côtes à marée, exposées aux vagues*

Sur les côtes extérieures de l'île, la zone d'attaque se déplace avec la marée, les vagues sont plus hautes, surtout à haute mer, et les embruns jaillissent plus loin. Les formes de dissolution du calcaire s'étagent donc sur une plus grande hauteur et sont plus complexes (ph. III et IV).

Sur la côte sud, là où toutes les formes sont représentées, on observe de haut en bas la succession suivante :

- au-dessus de 5 m par rapport au niveau des basses mers, la végétation habituelle de l'île couvre les versants ;

- entre 5 et 3 m, une zone à végétation de salicornes ;

- entre 3 m et le niveau des hautes mers, une zone dénudée, ciselée en nids d'abeilles et lapiés, de plus en plus vigoureusement découpés en se rapprochant du niveau de la mer ; quelques salicornes s'accrochent sur les replats ;

- un peu au-dessus ou au niveau des hautes mers, une encoche d'environ 30 pouces de profondeur ;

- entre le niveau des hautes et des basses mers, une plate-forme à lapiés et à mares, celles-ci plus ou moins régulièrement étagées, plus profondes et plus évoluées sur le bord de la plate-forme voisin de la mer. Là, les mares sont à demi ouvertes par effondrement d'une partie de leur cloison et certaines, défoncées, fonctionnent lors du jet de rive comme des événements d'où jaillissent des gerbes d'eau. L'encorbellement inférieur n'est pas continu. Parfois il est peu marqué et il n'existe qu'une petite falaise. Par places, au contraire, il est plus profond que l'encorbellement supérieur. C'est le cas général sur les pointes, qui sont les parties du littoral les plus exposées aux vagues.

Le fond des mares est couvert de sable coquillier. On y trouve fréquemment des balanes, qui recherchent aussi les fentes résultant de l'élargissement des diaclasses. Ces crustacés s'abritent dans les creux où un peu d'eau séjourne, même à marée basse. Ils ne semblent pas assez nombreux pour exercer une protection quelconque de la roche. En revanche, au-dessous des basses mers, celle-ci se recouvre d'organismes incrustants : Millépores, Algues calcaires, Sargasses et Fucus.<sup>15</sup>

Ces rivages bordant une mer à marée se distinguent de ceux de Harrington Sound surtout par le dédoublement de l'encoche. Les encoches se prolongent par des grottes marines souvent indépendantes de la pente des lits des calcaires éoliens. Comme, d'autre part, les éolianites comportent des parties cimentées par la calcite et d'autres où le sable est resté presque meuble, l'érosion différentielle sculpte les formes les plus variées. Il semble que, sauf aux pointes, l'encoche de haute mer soit plus développée que celle de basse mer et que le recul soit plus rapide à ce niveau, condition favorable à la formation d'une plate-forme à lapiés et mares relativement large. Une autre condition favorable est la valeur du marnage et la force du jet de rive sur la plate-forme.

<sup>15</sup> PRAT, 1935 et 1936.

PHOTO IIA



(photo F. Taillefer)

Rivages de Harrington Sound. Plate-forme à mares dans la zone des embruns, encoche en trait de scie au niveau de l'eau.

PHOTO IIB



(photo F. Taillefer)

Harrington Sound. Effondrement de la plate-forme. Au second plan, falaise et bloc éboulé.

Les mares dérivent toutes de l'évolution des lapiés. Certaines peuvent avoir pour point de départ des poches de dissolution fossiles formées à la base des sols rouges, lorsque ceux-ci se trouvent dans la zone actuellement exposée à l'érosion marine. Le revêtement de calcite qui tapisse le fond de ces poches se montre, en effet, plus résistant, non seulement que le sol meuble qui forme le contenu des poches, mais que le calcaire environnant. De véritables cupules de calcite sont ainsi mises en saillie par les vagues, avant d'être à leur tour emportées, lorsque la base calcaire sur laquelle elles reposent a été rongée à son tour.<sup>16</sup>

Le sapement de la base des falaises provoque des éboulements dont le plus bel exemple est celui de Old Battery. Mais ces accidents sont rares et le recul de cette côte exposée, s'il est plus rapide qu'à Harrington Sound (les traces d'anciens niveaux ou les plages fossiles sans doute bas-monastiriennes ne s'y rencontrent que dans les baies abritées, comme Hungry Bay, et semblent avoir été détruites ailleurs), n'a pas été très considérable depuis que la mer s'est stabilisée à son niveau actuel, comme le montre l'étude des processus d'érosion.

#### *Processus de sculpture littorale au-dessus du niveau moyen des basses-mers*

Les nids d'abeilles et les lapiés de la zone dénudée située au-dessus du niveau des hautes mers, et exposée seulement aux embruns, ont été depuis longtemps expliqués par la dissolution. C'est la zone d'érosion alvéolaire de Prat.<sup>17</sup> Verrill a fait observer que ce processus s'accompagnait d'une transformation de la partie superficielle des grès éoliens par l'alternance de l'infiltration de l'eau et de l'évaporation. Il se forme ainsi une véritable croûte calcaire, très dure, qui épouse toutes les irrégularités de la surface et fait disparaître la stratification originelle des grès. Son épaisseur peut atteindre 12 à 15 pouces. Le durcissement des grès se produit également dans l'intérieur de l'île, sous l'action des eaux de pluie, qui sont abondantes (généralement plus de 50 pouces ou 1,30 m)<sup>18</sup> et réparties sur toute l'année (190 à 207 jours de pluie, avec maximum d'octobre-novembre. L'humidité atmosphérique, toujours élevée, provoque aussi des condensations à la fin de la nuit sur les parois rocheuses, suivies d'évaporation lorsque le soleil vient les frapper.<sup>19</sup>

Néanmoins, le durcissement est plus rapide dans la zone littorale, parce que les alternances d'infiltration et d'évaporation s'y répètent beaucoup plus souvent, et parce que la tranche d'eau reçue par unité de surface est beaucoup plus haute. La salinité augmente aussi dans de fortes proportions la solubilité.<sup>20</sup>

<sup>16</sup> Sur ces poches de dissolution (*sand pipes*), appelées parfois *Palmetto stumps* parce qu'on y voyait, à tort, l'empreinte des racines d'un palmier répandu aux Bermudes (*Sabal Blackburniana Glazebrook*), voir VERRILL, 1907, pp. 172-177.

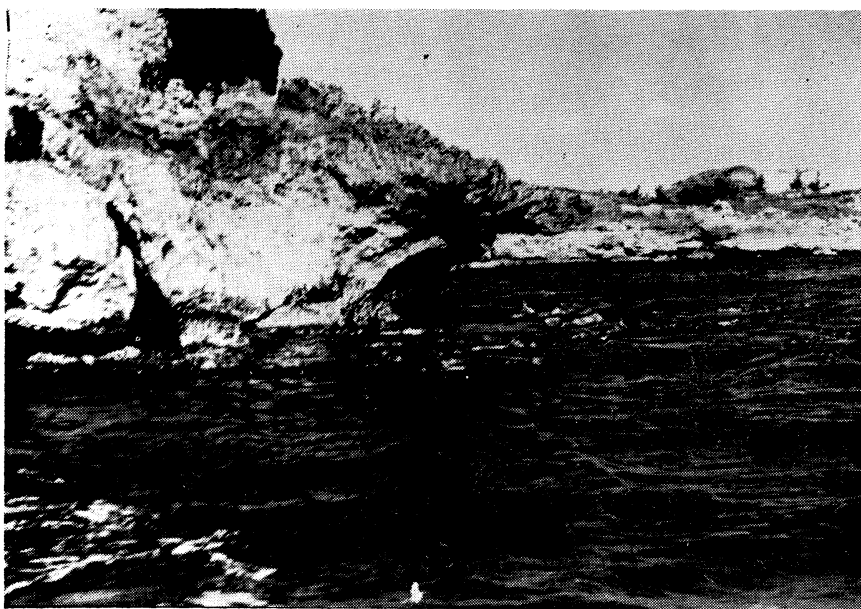
<sup>17</sup> PRAT, 1935.

<sup>18</sup> 54 à 66 pouces à Ireland Island, 48 à 61 pouces à St. George's, 58 à 63 pouces à Hamilton.

<sup>19</sup> Le durcissement des calcaires dunaires dans la zone des embruns et la zone intertidale a été signalé en particulier en Australie : HILLS, *Shore platforms*, dans *Geol. Mag.*, t. 86, 1949, p. 137-152 ; au Maroc : GUILCHER et JOLY, 1954, pp. 98-99 ; au Portugal : GUILCHER, 1957, etc.

<sup>20</sup> SVERDRUP, JOHNSON, FLEMING, *The Oceans, their physics, chemistry and general Biology*, New-York, Prentice-Hall, 3rd printing, 1949, pp. 205-211. GUILCHER et PONT, 1957.

PHOTO IIIA



Côte sud. Lapiés et encorbellement à basse mer. *(photo F. Taillefer)*

PHOTO IIIB



Côte sud. Étagement des formes littorales à basse mer. Rocher en champignon et, à sa hauteur, sur le rivage, bloc éboulé. Au loin, ligne blanche des boilers.

Le même durcissement superficiel des calcaires, transformés en une roche qui résonne sous le marteau, s'observe dans la zone intertidale. Dans cette zone, le durcissement est dû à peu près exclusivement à l'infiltration et à l'évaporation de l'eau de mer, les eaux de pluie ne pouvant avoir qu'un rôle insignifiant. Mais les formes des lapiés n'y sont plus anguleuses et acérées comme dans la zone des embruns. Les arêtes sont toujours émoussées et arrondies. Les formes sont plus grandes et l'évidement beaucoup plus poussé. Aux ciselures superficielles de la zone des embruns succède un défoncement par approfondissement des lapiés, destruction des arêtes, élargissement des mares et des marmites sans fond. Toute ces formes révèlent une dissolution très active et aucune d'elles ne peut être attribuée à l'érosion mécanique. Le durcissement superficiel de la roche forme une cuirasse sans fissure, et il est impossible de découvrir dans cette zone le moindre galet. Le seul effet mécanique des vagues semble être de hâter l'effondrement de l'édifice, transformé par la dissolution en une fragile dentelle de pierre, dont les débris sont eux-mêmes rapidement dissous.

Les encoches, éléments essentiels de l'évolution de ces littoraux, ne semblent pas pouvoir s'expliquer autrement. Plusieurs auteurs les ont pourtant attribuées à l'érosion mécanique des vagues.<sup>21</sup> Mais celles-ci, en l'absence, de galets, ne peuvent guère user mécaniquement le calcaire durci. De plus, dans les parties abritées, l'encoche est au moins aussi nette qu'ailleurs. Le trait de scie qui caractérise les rivages de la rade fermée de Harrington Sound est trop étroit pour que les vagues atteignent le fond. L'encoche correspond au niveau où la mer stationne, comme si la dissolution était maximale au voisinage immédiat de la surface, là où l'eau est le plus aérée et le plus rapidement renouvelée. Ce renouvellement incessant est probablement l'explication du paradoxe apparent de la dissolution très active du calcaire par des eaux quasi saturées.

Là où le niveau marin est stable, il n'existe qu'une encoche de dissolution. Sur les rivages où le marnage est sensible, on trouve deux encoches, correspondant aux hautes et aux basses mers, la zone intertidale étant elle-même un lieu de dissolution active par formation de lapiés marins à arêtes émoussées, de mares et de marmites sans fond.

Des conditions locales favorisent d'ailleurs la formation des encorbellements. Ceux-ci se réalisent mieux lorsque la stratification est horizontale, mais cette condition n'est pas nécessaire. En second lieu, les encorbellements correspondent souvent à la présence d'un banc plus dur, appelé *base rock*. Il s'agit d'un niveau induré qui s'est formé et se forme peut-être encore, dans les calcaires des Bermudes, au niveau des hautes mers. L'eau de mer pénètre, en effet, dans les grès dunaires et arrête la descente des eaux d'infiltration, chargée de carbonate de calcium. Le niveau situé immédiatement au-dessus du niveau de la mer est donc une zone d'accumulation de calcite : c'est le *base rock*, dont l'épaisseur, de 4 à 6 pieds, est du même ordre que le marnage.

La fréquence des blocs effondrés et des falaises donne à première vue l'impression d'un recul rapide des rivages suivant le processus traditionnel de

<sup>21</sup> AGASSIZ, 1895 ; PRAT, 1935.

PHOTO IVA



(photo F. Taillefer)

Côte sud. Lapiés et encorbellements. Rocher en champignon.

PHOTO IVB



(photo F. Taillefer)

Côte sud. Détail de la plate-forme à mares et rocher en champignon. À l'arrière-plan, ligne des boilers.



l'évolution des falaises, par sapement à la base et effondrement du surplomb. L'encoche étant due à la dissolution, les blocs effondrés n'assurent aucune protection à la falaise et rien ne s'oppose aux progrès de l'érosion, même si le bas de la falaise reste encombré de blocs.

La vitesse de la dissolution a été estimée par Verrill. Sur la chaussée, construite en calcaire local, reliant l'île principale à St. George's, elle aurait fait disparaître, entre 1871 et 1898 (dates de la construction et de la destruction de la chaussée par un cyclone) moins d'un demi pouce de calcaire en moyenne dans la zone intertidale, et un pouce là où elle a été la plus active.<sup>22</sup> Verrill a également comparé, d'après des documents du XVII<sup>e</sup> siècle et des photos prises du même point à 25 ans d'intervalle, la forme de rochers isolés, les North Rocks, situés au large et soumis non seulement à l'action dissolvante de l'eau de mer, mais à l'action mécanique des vagues. Aucune modification importante n'a pu être notée. L'érosion est donc lente. Même si, à Harrington Sound, on admet une vitesse double de celle observée là où le marnage déplace la zone d'attaque, on n'obtient qu'une vitesse moyenne de 4 pouces par siècle. Les plus profondes encoches observées auraient donc demandé plus de 40 siècles pour se former. Le recul de la falaise de Harrington Sound depuis que la mer est stabilisée à son niveau actuel (quelques milliers d'années) peut donc être estimé à quelques dizaines de pieds. La reconstitution, d'après la partie conservée des versants, du profil antérieur à l'attaque marine, conduit à situer le rivage primitif à une distance de cet ordre en avant du rivage actuel. La dissolution donne donc, lorsqu'elle s'exerce à niveau constant, des formes d'une grande netteté, mais la vitesse du recul, qui n'excède sans doute pas 4 pouces par siècle, reste très inférieure à celle du recul des falaises de roche tendre soumise à l'action mécanique des vagues armées de galets.

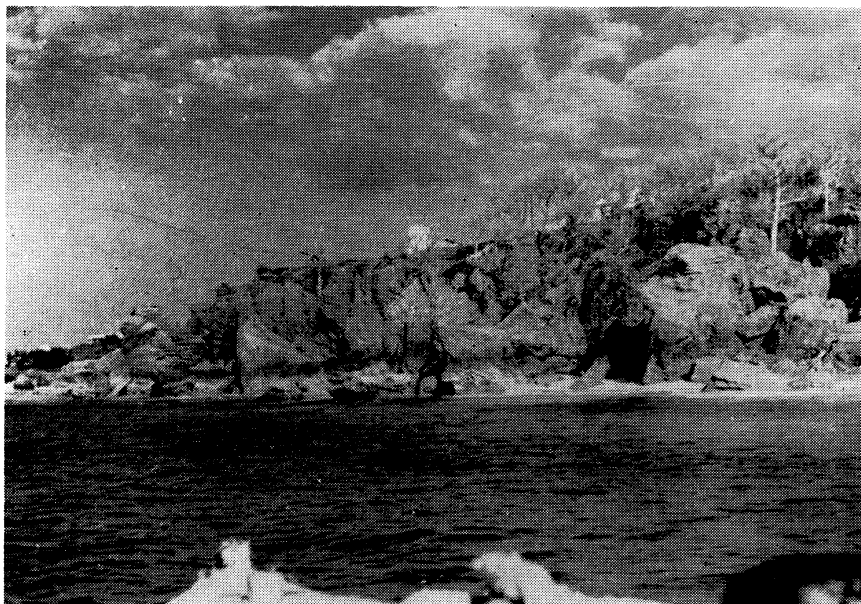
Sur les côtes exposées aux vagues, comme la côte sud, la hauteur des falaises indique un recul plus rapide. Le développement des encoches de dissolution et l'élargissement, également par dissolution, des fissures du calcaire, d'ailleurs déjà miné par l'érosion karstique quaternaire, multiplient les points faibles que met à profit l'action mécanique des vagues. Néanmoins, ces deux actions associées ne sont pas parvenues à détruire tous les vestiges présumés du rivage bas-monastirien. Les formes littorales et les écueils situés en avant des falaises ne résultent que pour une faible partie de leur recul depuis que la mer a atteint son niveau actuel.

#### *Les formes littorales au voisinage du niveau des basses mers. Les « boilers »*

Alors que les formes situées au-dessus du niveau des basses mers n'offrent aucune difficulté d'observation, il n'en va pas de même de celles qui sont cons-

<sup>22</sup> Elle serait donc sensiblement plus lente que dans les grès dunaires du Maroc, où elle atteindrait environ 0.5 cm par an (GUILCHER et JOLY, 1954, pp. 84-85). Mais les grès dunaires du Maroc et du Portugal sont des grès siliceux à ciment calcaire. La dissolution du ciment provoque la désagrégation des grains de sable, qui est le phénomène capital dans l'usure des grès (GUILCHER et PONT, 1957). Les éolianites des Bermudes, au contraire, ne contiennent pas de grains siliceux et sont entièrement calcaires. C'est sans doute pourquoi, la dissolution jouant à peu près seule, leur usure est plus lente.

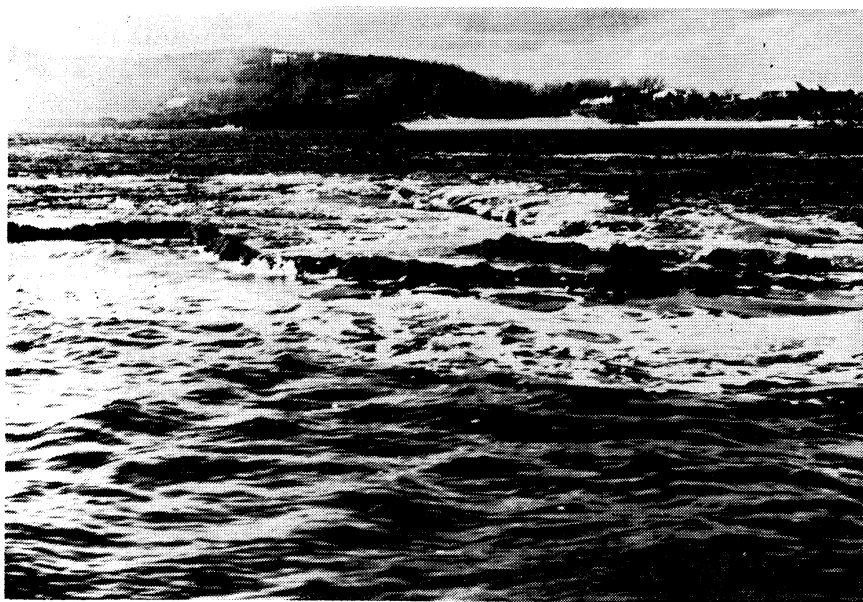
PHOTO VA



(photo F. Taillefer)

Côte sud. Éboulement de Old Battery. Sur la falaise, « cèdres » des Bermudes tués par la maladie qui ravage les peuplements de l'île.

PHOTO VB



(photo F. Taillefer)

Bord extérieur de la barrière de brisants. À gauche, fumée d'un incendie de forêt.

tamment immergées et s'étendent jusqu'à un ou deux milles de la côte dans la zone du déferlement. Nous avons pu en étudier quelques-unes à basse mer.<sup>23</sup>

Le processus de durcissement des calcaires éoliens, encore actif dans la zone intertidale, ne peut être actuel au-dessous du niveau des basses mers, puisque une des conditions de ce durcissement, l'évaporation, n'y est pas réalisée. Néanmoins, on y rencontre encore des calcaires durs, blocs effondrés durcis à l'air libre avant de se détacher de la falaise, ou simplement fragments de *base rock* ancien formé en fonction d'un niveau marin plus bas qu'aujourd'hui. Mais le fait essentiel, au-dessous du niveau des basses mers, est l'existence d'un revêtement à peu près continu d'organismes incrustants ou d'algues, masquant la roche. Ils tapissent la petite falaise par laquelle se termine la plate-forme à mares et lapiés ainsi que la surface des innombrables rochers à fleur d'eau ou faiblement immergés dont s'entourent les îles actuelles. Ces rochers<sup>24</sup> et platiers sont surtout nombreux sur la plate-forme des Bermudes au Nord et à l'Ouest des îles. Cette vaste zone maritime déborde de beaucoup les limites d'une étude des rivages. En revanche, les brisants qui s'alignent à faible distance de la côte sud de l'île principale ne peuvent en être séparés. Une véritable barrière de brisants précède en effet ce rivage, parfois à la toucher, le plus souvent à une distance variant entre 1,000 et 1,500 pieds. La mer brise brusquement, jaillissant en gerbes d'écume, ce qui a valu à ces récifs le nom de *boilers*. À basse mer, certains découvrent et émergent de 1 à 2 pieds. Les crêtes des vagues les recouvrent, mais lors du passage des creux ils émergent et l'eau ruisselle tout autour en une cascade éphémère que la crête suivante fait disparaître (ph. V B et VI).

La forme et les dimensions de ces récifs sont très variables. Certains sont à peu près circulaires, d'un diamètre variant de quelques pieds à plus de 100 pieds, simulant de petits *atolls*. D'autres sont en croissant, le bord du cercle tourné vers le rivage manquant. Ces formes sont surtout représentées au voisinage de la côte. Les brisants extérieurs affectent plus souvent la forme de crêtes allongées, formées de plusieurs brisants en croissants accolés. Leur longueur, très variable, peut dépasser 150 pieds, tandis que leur largeur varie de 2 ou 3 pieds à 30 ou 40 pieds. Le sommet des *boilers* est plat ou légèrement déprimé au centre. Les parois sont à peu près verticales et plongent jusqu'à une profondeur variant de 2½ à 4 brasses, soit d'un seul jet, soit par gradins successifs. Le bord supérieur est toujours en encorbellement et certains *boilers* sont en forme de champignon ou plutôt de bassin posé sur un pied. La valeur du surplomb varie de quelques pouces à ½ pied au plus. Les bords du lagon intérieur sont aussi en encorbellement mais celui-ci est moins prononcé. Il arrive que, le pied brisé, le bassin bascule, une partie seulement émergeant à marée basse (ph. VI B).

<sup>23</sup> À bord d'une embarcation mise obligeamment à notre disposition par M. Sutcliffe, directeur de la Station biologique des Bermudes. Grâce à la transparence de l'eau, les fonds peuvent être observés à l'aide d'une lunette de calfat. Nous avons dû, faute de temps, nous contenter d'une visite rapide. Nous empruntons de nombreuses précisions à l'excellent mémoire d'Alexandre Agassiz (1895).

<sup>24</sup> Plusieurs auteurs parlent à leur propos de récifs. M. Guilcher nous fait observer qu'il vaut mieux réserver *récifs* (angl. *reefs*) pour les récifs *construits* (corail, algues calcaires). Pour ce qui est roche, même revêtue d'une mince pellicule de constructions calcaires biologiques (ce qui est le cas ici), il est préférable de dire *rocher* ou *brisant* (angl. *rock*, *stack*). En effet, on dit souvent récifs tout court pour récifs coralliens, et de même *reefs* pour *coral reefs*.

PHOTO VIA



(photo F. Taillefer)

**Boilers à très basse mer.** Bordure d'organismes incrustants plus épaisse du côté exposé (à droite) que du côté abrité.

PHOTO VIB



(photo F. Taillefer)

Un boiler basculé, à proximité de la côte sud. Sur la côte, la végétation s'arrête à la hauteur des embruns. Blocs éboulés, roches en champignon, petite plage découpant à très basse mer.

À l'extérieur de la ligne la plus externe des *boilers*, on trouve un fond irrégulier, avec des profondeurs supérieures à 5 brasses et atteignant 15 brasses ou plus.

Tous ces brisants sont de couleur sombre presque noire, car ils sont recouverts d'animaux incrustants (Porites, Serpules) et d'algues (Corallines, Lithothamnées). Dans le cas des *boilers* circulaires, la largeur de cette bordure vivante varie de 8-10 pouces à 5 pieds. Son épaisseur est au maximum de 12 à 18 pouces. Le rocher lui-même est toujours constitué de calcaires éoliens et n'est pas une forme construite par les organismes marins. Ceux-ci l'utilisent seulement comme support et, par leur présence, en modifient l'évolution sous l'action de la mer. Les conditions de vie de ces organismes paraissent, en effet, étroitement liées à l'agitation et à l'aération des eaux. La bordure d'organismes vivants se développe largement du côté exposé du brisant, mais s'amenuise ou même disparaît du côté abrité, donnant une forme en croissant. La partie recouverte est protégée contre l'action mécanique des vagues et, semble-t-il, contre une dissolution trop rapide. Les Serpules ne peuvent vivre dans les eaux plus calmes du lagon. Ceux-ci, profonds de 12 à 15 pouces à quelques pieds, sont généralement remplis de sable coquillier.

Les *boilers* les plus proches du rivage dérivent soit de blocs tombés de falaises, soit d'écueils témoins de leur recul. La mer a rongé les parties émergées, mais au-dessous des basses mers ils ont été protégés par les organismes vivants fixés sur le pourtour du récif. La barrière externe de *boilers* est plus difficile à expliquer. Il s'agit peut-être d'un ancien rivage, formé en fonction d'un niveau plus bas que l'actuel. La forme en champignon des rochers actuellement submergés s'expliquerait par le développement d'une encoche de dissolution à ce niveau. Mais le chenal continu, profond de 15 à 40 pieds, qui sépare cet alignement du rivage actuel, n'a pu être creusé par la mer. La barrière de brisants de la côte sud dérive sans doute d'une forme continentale noyée par la transgression flandrienne : alignement de dunes consolidées, ou flèche littorale ancienne.

Ainsi, les *boilers* les plus extérieurs ne peuvent s'expliquer uniquement par les conditions actuelles. Si leurs formes originales sont dues à la présence d'un revêtement d'organismes vivants, leur origine est en relation avec les variations du niveau marin.

*Formes littorales formées en fonction de niveaux marins plus élevés ou plus bas que le niveau actuel*

Les formes littorales situées au-dessus du niveau marin actuel sont peu nombreuses et ne se rencontrent pas à plus de 15 à 18 pieds au-dessus du niveau des hautes mers. Quelques dépôts de plage consolidés se situent en général à 5-8 pieds au-dessus des hautes eaux. Il s'agit vraisemblablement de vestiges du rivage bas-monastirien souvent signalé autour de l'Atlantique. Sur les falaises, un plan d'érosion (figure 3 D) se rencontre parfois à 8-15 pieds au-dessus de l'encoche des hautes mers actuelle.

Des grottes marines (*ovens*) ont été creusées au même niveau, par exemple dans les îles de Harrington Sound. Mais on ne les rencontre pas dans les zones où le recul des falaises est relativement rapide. C'est également dans les endroits

abrités, et autour des anses, qu'une terrasse d'érosion paraît s'être conservée, par exemple, d'après Verrill, sur la rive ouest de Castle Harbour et autour de quelques baies (Mullet Bay, Hungry Bay). Des calcaires marins, mentionnés par Sayles à 25 pieds au-dessus du niveau actuel à Mangrove Bay, et une grotte marine au même niveau à l'Est du phare de St. David's Head, sont peut-être les témoins d'un niveau monastirien.

Les traces de niveaux plus bas que le niveau actuel sont plus nombreuses : dépôts de plage consolidés situés au-dessous du niveau marin actuel,<sup>25</sup> et aussi formes continentales noyées : dépressions karstiques et grottes, dont quelques-unes descendraient à -50 ou -60 pieds,<sup>26</sup> récifs en champignon sapés à -30 ou -40 pieds sur le plateau au large des côtes nord et ouest de l'île.<sup>27</sup> Toutes les formes littorales de dissolution des calcaires aux Bermudes ne sont donc pas contemporaines : quelques-unes ont été façonnées un peu au-dessus du niveau actuel par la mer préglaciaire (monastirienne), d'autres, au-dessous de ce niveau, durant la régression qui a accompagné la dernière glaciation (Wisconsin).

### *Conclusion*

L'étagement des formes littorales de dissolution des calcaires aux Bermudes est lié avant tout à la valeur du marnage. Une encoche se forme au niveau de la surface de l'eau et un peu au-dessus. Si le plan d'eau est stable (absence de marée) ; il n'existe qu'une encoche, étroite et profonde, l'encorbellement étant finement sculpté d'alvéoles de dissolution en nids d'abeilles et de lapiés par les embruns qui maintiennent à distance la végétation. Lorsque le marnage est appréciable, il se forme deux encoches, séparées par une plate-forme à mares à bords en encorbellement et à marmites.

Au niveau des basses mers et au-dessous, jusqu'à une profondeur de quelques brasses, les organismes marins incrustants et les grandes algues semblent protéger les parties habituellement submergées.

Les formes ainsi définies ont-elles un caractère zonal ? Elles sont analogues à celles qui ont été décrites sur les rivages des mers tièdes ou chaudes où la marée est négligeable ou faible, Méditerranée, mer Rouge ou Hawaï.<sup>28</sup> Les conditions zonales agissent aussi aux Bermudes par l'intermédiaire des organismes vivants, empêchant le développement de coraux constructeurs de récifs et convenant aux organismes incrustants. À cet égard, les Bermudes occupent une position intermédiaire entre les régions où les coraux construisent des récifs et celles, plus septentrionales, où en l'absence d'organismes incrustants la dissolution, aidée d'ailleurs par d'autres processus, s'exerce sans compensation.

Verrill a décrit de grandes formes de dissolution littorale dans les calcaires siluriens presque horizontaux de l'île d'Anticosti. Dans la zone intertidale se sont développés des platiers larges de 100 à 200 mètres, dont la surface

<sup>25</sup> MOORE, 1946.

<sup>26</sup> SWINNERTON, 1929.

<sup>27</sup> VERRILL, 1907.

<sup>28</sup> GUILCHER, 1953, et GUILCHER et JOLY, 1954.

est occupée par des mares, petites et grandes, mais toujours peu profondes. Le bord externe du platier, au-dessous du niveau de basse mer, est sapé comme aux Bermudes. « Le phénomène d'érosion est donc le même qu'aux Bermudes, mais à une plus grande échelle, en l'absence d'organismes protecteurs ou in-crustants.<sup>29</sup>

Dans les zones très froides, la dissolution serait active, car les eaux sont susceptibles de contenir plus de gaz carbonique en dissolution, et surtout les organismes vivants, moins nombreux, en prélèvent une moindre quantité; la neige ajoute son action corrosive à celle de l'eau de mer. D'autre part, le pied de glace et, sur les parties émergées temporairement, le gel, délitent la roche. La désagrégation mécanique devient dans les régions à hiver froid un agent important de l'évolution des formes littorales.

#### BIBLIOGRAPHIE

- AGASSIZ, Alexandre (1895), *A visit to the Bermudas in March, 1894*, dans *Bull. of the Musuem of Comparative Zoology at Harvard College*, Cambridge, Mass., vol. XXVI, n° 2, pp. 209-281, 29 pl. phot. et 1 carte h. t.
- Ce précieux mémoire, qui donne une description détaillée des récifs, platiers, atolls à serpules, sounds, etc., est très partiellement résumé sous le titre : *Notes from the Bermudas*, dans *Amer. Journ. Sci.*, sér. 3, vol. XLVII, juin 1894, pp. 411-416, figs.
- BRYAN, K., and CADY, R. C. (1934), *The Pleistocene Climate of Bermudas*, dans *Amer. Jour. Sci.*, XXVII, 5<sup>e</sup> sér., pp. 241-264.
- CAULLERY, M. (1900), *Les récifs coralliens*, dans *Annales de géographie*, Paris, pp. 1-16 et 193-210 (sur les Bermudes, pp. 199-200).
- GUILCHER, A. (1953), *Essai sur la zonation et la distribution des formes littorales de dissolution du calcaire*, dans *Annales de géographie*, Paris, t. 62, n° 331, pp. 161-179, 5 fig., 2 pl. h. t.
- GUILCHER, A. (1954), a) *Morphologie littorale et sous-marine* (Coll. Orbis), Paris, P.U.F.
- GUILCHER, A. (1954), b) *Morphologie littorale du calcaire en Méditerranée occidentale*, dans *Bull. Assoc. Géogr. fr.*, n° 241-242, pp. 50-58.
- GUILCHER, A., et JOLY, F. (1954), *Recherches sur la morphologie de la côte atlantique du Maroc* (Trav. Inst. Sc. chérifien, Sér. géol. et géogr. phys., n° 2) Tanger, Éd. internationales, 140 p., 14 pl. phot. h. t.
- GUILCHER, A. (1957), *Formes de corrosion littorale du calcaire sur les côtes du Portugal*. Mélanges offerts à M<sup>me</sup> J. B. Hol. (Utrecht).
- GUILCHER, A., et PONT (1957), *Études expérimentales de la corrosion littorale des calcaires*, dans *Bull. Assoc. Géogr. fr.*
- KNOX, A. S. (1940), *The peat deposits of Bermuda and evidences of post-glacial changes in sea-level*, dans *Journ. Geol.*, t. 48, pp. 767-780.
- MOORE, H. B., et MOORE, D. M. (1946), *Preglacial History of Bermuda*, dans *Geol. Soc. America Bull.*, t. 57, pp. 207-222, 2 pl.
- PIRSSON, L. V. (1914), *Geology of Bermuda Island ; the igneous platform*, dans *Amer. Journ. Sci.*, t. 38, pp. 189-206 et 331-334.
- PRAT, H. (1934), *Comparaison bionomique entre les rivages de l'estuaire du Saint-Laurent et ceux des îles Bermudes*, dans *Transact. Roy. Soc. Canada*, 3<sup>e</sup> sér., sect. V, vol. 28, p. 25.
- PRAT, H. (1935), *Les formes d'érosion littorales dans l'archipel des Bermudes et l'évolution des atolls et des récifs coralliens*, dans *Rev. Géogr. phys. Géol. dyn.*, t. 8, fasc. 3, pp. 257-283. 7 fig., 2 pl.

<sup>29</sup> VERRILL, 1907, p. 125, note infrapaginale.

- PRAT, H., (1936), *Remarques sur la distribution des organismes dans les eaux littorales des Bermudes*, dans *Bull. Inst. océan. Monaco*, n° 705, 23 p., 6 fig., Bibliographie.
- SAYLES, R. W. (1931), *Bermuda during the Ice Age*, dans *Proceedings Am. Acad. Arts and Sci.*, t. 66, pp. 380-467.
- SWINNERTON, A. C. (1929), *The caves of Bermuda*, dans *Geol. Mag.*, t. LXVI, p. 79-84.
- VERRIL, Addison E. (1907), *The Bermuda Islands: Part IV — Geology and Paleontology*, and Part V — *An Account of the Coral Reefs*, dans *Transactions of the Connecticut Academy of Arts and Sciences*, vol. XII, 1904-1907 (Publ. of Yale University, New-Haven), pp. 45-348 et pl. XVI à XL.
- WOOLARD, G. P., et EWING, M. (1939), *Structural Geology of the Bermuda Islands*, dans *Nature*, vol. 143, p. 898.
- 